

競技エアロビック選手の体力特性および血中乳酸濃度動態について

著者	菊地 はるひ, 佐々木 浩子, 柚木 孝敬
雑誌名	浅井学園大学短期大学部研究紀要
巻	45
ページ	25-33
発行年	2007
URL	http://id.nii.ac.jp/1136/00000753/

競技エアロビック選手の体力特性および血中乳酸濃度動態について

A Study on the Special Characteristics of Aerobic Gymnastics Athletes and the Movement of Blood Lactate

菊 地 は る ひ	佐 々 木 浩 子	柚 木 孝 敬*
Haruhi	KIKUCHI	Hiroko
	SASAKI	Takahiro
		YUNOKI

Abstract

Aerobic Gymnastics is an expressive and competitive sport performed within 1 minute and 45 ± 5 seconds. Athletes must perform continuous complex and high intensity aerobic movement patterns to music incorporating difficult elements throughout the routine. Performances are graded by Artistic, Execution, and Difficulty. In this study, we tried to discover the characteristics for anaerobic power, aerobic capacity, and HR movement during the routine in the Aerobic Gymnastics World Champions (2 male: W1, W2) and Japanese representative athletes (2 male: J1, J2). We also endeavored to learn about movement of blood lactate after the Wingate test, a gradual increase loading test and the routine. During the routine, average HR and maximal HR were 161.0 ± 30.7 , 182beat/min (W1), 169.3 ± 24.9 and 191beat/min (J2). They performed at over 90% HRmax during the later 2/3 of the routine. Maximum blood lactate after their routine were 9.78 (W1), 13.77 (W2), 12.01 (J1), 14.36 (J2) mmol/l. The time for their peak values of blood lactate were 6 minutes (W1, W2) and 3 minutes (J1, J2) after the anaerobic test and 1 minute (W1, J2) and 3 minutes (W2, J1) after their routine. Aerobic Gymnastics is a graded sport. As such, it is different from track and field and swimming in which events the physical ability can be ranked directly to the resulting record. Aerobic Gymnastics on the other hand, requires the athlete to sustain high intensity with high ability during the event. If the athlete does not have a high physical capacity, they will perform the aerobic movements and difficulty elements with poor or unacceptable execution resulting in a lower score. To achieve a higher score, athletes must expand their high physical capacity and execute polished movements perfectly. We can suggest from this study, that in order to perform perfect execution throughout the routine, athletes must decrease their rising blood lactate. Anaerobic training and lactic training are effective tools for Aerobic Gymnastics. These results provide significant data for the coaching and training of Aerobic Gymnastics athletes.

* 北海道大学大学院教育学研究科

は じ め に

競技エアロビックは、1分45秒という競技時間内に複雑かつ多様なエアロビックステップを独創的に組み合わせ、さらに難度エレメントを組み入れた一連のルーティンを連続して実施する競技である。全ての動作は音楽のリズムや音楽性と一致して行うことが要求される。競技エリアはシングル部門、ペア部門、トリオ部門は7×7 m、グループ部門は10×10mであり、一連の動きを通して筋力、筋持久力、柔軟性、瞬発力、巧緻性などの体力要素を十分に生かした動きの完成度が評価される。評価基準には芸術点（コレオグラフィー・音楽性・エアロビックの内容・スペース・プレゼンテーション）、技術点（テクニカルスキル・タイミング・シンクロナイズーション）、難度点の3つがあり、総合得点により順位が決定される。

このような競技内容において競われる競技エアロビックにおいて、選手の身体的特性に関する報告はほとんど行われていない。我々は、過去に世界のトップレベルの選手を対象とし、その身体的特性を知るために最大酸素摂取量および膝の等速性筋力を測定し、その結果を報告している。また、ルーティン中の心拍数変動を測定することにより、運動強度から見た競技特性を検討してきた。今回は世界トップレベルの選手および日本代表選手に対し、無酸素性能力、有酸素性能力、運動中および運動後の血中乳酸濃度変化を測定し、競技エアロビックの種目特性が身体的特性にどのように反映しているのか、また、競技力とどのように関わっているのかを検討するとともに、今後の選手育成に有用な資料を得ることを目的とした。

研 究 方 法

1. 研究対象

研究対象は国際体操連盟主催エアロビック世界選手権大会において1998, 2000, 2002年に男子シングル部門で優勝しているW1選手（スペイン）、2002年のトリオ部門で優勝したW2選手（スペイン）、2002, 2004年の世界選手権大会日本代表のJ1選手およびJ2選手の4名とした（table 1）。

（table 1） Subject

	W1	W2	J1	J2
Age	26	28	28	20
History of Aerobic Gymnastics (year)	11	5	8	5
Hight (cm)	174.8	174.8	173.0	175.0
Weight (kg)	69.0	69.0	66.0	63.5

2. 研究方法

各選手に対し、2003年8月および2005年3月に本学において以下の測定を行った。

A. 30秒間の Wingate Test 終了後の血中乳酸濃度測定

コンビ社製パワーマックスVを用い、体重の7.5%の負荷重量で30秒間の最大努力での自転車ペダリング（Wingate Test）を行った。各選手にはサドルの高さを各自に適した位置にセットさせ、サドルから腰を上げないように指示をした。30秒間の平均パワーを無酸素性パワー

(Mean Power), 最初の 5 秒間の平均パワーを最大無酸素性パワー (Max Power) として算出した。また, Wingate Test 終了後 1, 3, 6, 9, 12 分後にそれぞれ指尖から血液を採り, 血中乳酸濃度を測定した。

B. 漸増負荷運動中および運動後の血中乳酸濃度測定

コンビ社製エアロバイクを用い, 漸増負荷運動テストを行った。負荷は10Wから開始し, 18W/min の割合で漸増させた。その間, 呼気ガス分析器 (MMC 4400tc: Sensor Medics) を用いて, 換気量および呼気ガス諸変量を breath-by-breath に測定し, 20秒ごとに平均出力した。また, 運動開始 5 分後から血液を採り, 血中乳酸濃度を測定し, 以後 3 分ごとに測定を行った。乳酸性作業閾値 (LT) は血中乳酸値の第一変曲点とし, 血中乳酸値が4.0mmol/l となる点を Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) とした。

C. 競技ルーティン中の心拍数の測定および競技ルーティン終了後の血中乳酸濃度測定

選手に各自の競技ルーティンを実施してもらい, POLAR ハートレートモニター S 810により競技ルーティン中の心拍数を測定した。また, 競技ルーティン終了 1, 3, 6, 9, 12 分後にそれぞれ採血し, 血中乳酸濃度を測定した。

結 果

A. 各選手の無酸素性パワーおよび Wingate Test 後の血中乳酸濃度

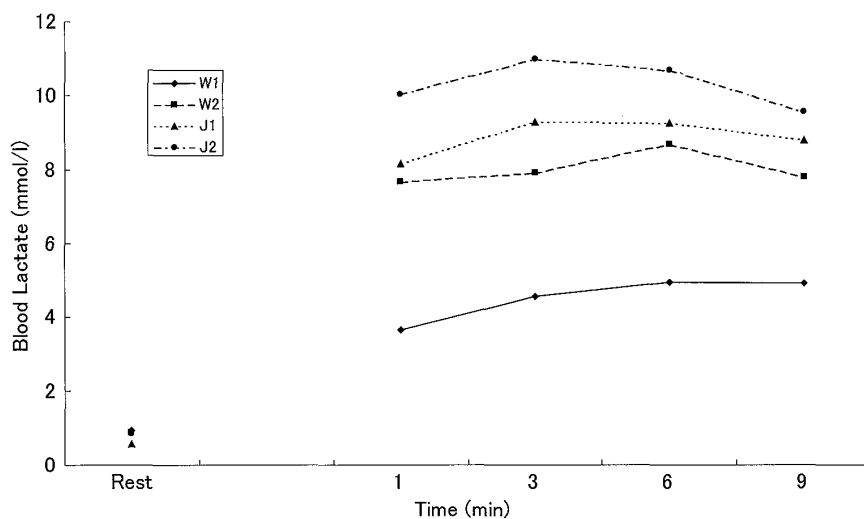
Wingate Test における30秒間の平均パワーを無酸素性パワー (Mean Power), 最初の 5 秒間の平均パワーを最大無酸素性パワー (Maximal Power) と捉え, 各選手の値を <Table 2> に示した。

J 1 選手の体重あたり

の Mean Power は9.20 (fig.1) Movement of Blood Lactate after Wingate Test

w/kg, Maximal Power が11.97 w/kg と 4 選手の中で J 1 選手の無酸素パワーが最大となり, その値は陸上中距離選手に近い値を示した。

Wingate Test 後の血中乳酸濃度は W 1, W 2 選手が終了 6 分後に, J 1, J 2 選手は終了 3 分後に最大値となった。血中乳酸濃度の最大値は, W 1, W 2, J 1, J 2 選手それぞれ, 4.93, 8.69, 10.98, 10.98mmol/l であり, 選手間でのばらつきが大きく見られた。W 1 選手は無酸素性パワーの値が 4 名の中で最も低い値であったが, 運動後の血中乳酸濃度においても他の 3 人に比べ低い値を示した (fig.1)。



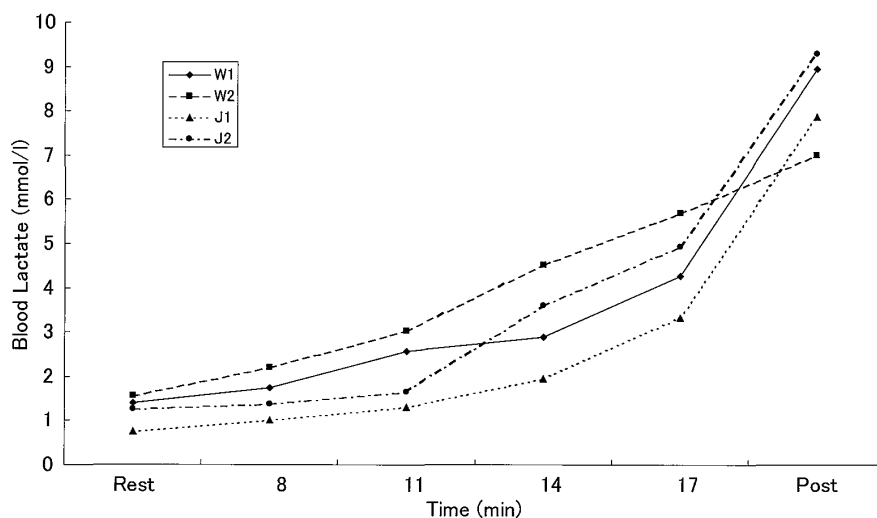
B. 各選手の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) および漸増負荷運動中・後の血中乳酸濃度

自転車ペダリングによる漸増負荷運動の呼気ガス分析から推定した $\dot{V}O_{2max}$ はW1選手が3.64ml/minで最も多く、体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ はJ1選手が54.5ml/minと4名の中で最も大きな値を示した。他の種目の報告と比較するとその値は陸上長距離、水泳、クロスカントリー、スケート選手よりも低い値であり、体操競技や球技系種目の選手と近い値を示した (table2)。

漸増負荷運動中は各選手ともに徐々に血中乳酸濃度が上昇し、運動終了1分後の値はW1, W2, J1, J2選手それぞれ8.94, 6.99, 7.86, 9.29mmol/lであった (fig.2)。

(table 2) Power and Maximal Cardiorespiratory responses

	W1	W2	J1	J2
Mean Power (W)	480	496	607	542
Mean Power (w/kg)	7.06	7.52	9.20	8.47
Maximal Power (W)	596	705	790	715
Maximal Power (w/kg)	8.76	10.68	11.97	11.17
$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	3.64	2.41	3.60	3.22
$\dot{V}O_{2max}/wt$ (l/min/kg)	53.5	36.6	54.5	50.6



(fig.2) Movement of Blood Lactate during Bicycle ergo meter

C. 競技ルーティン中の心拍数および競技ルーティン後の血中乳酸濃度変化

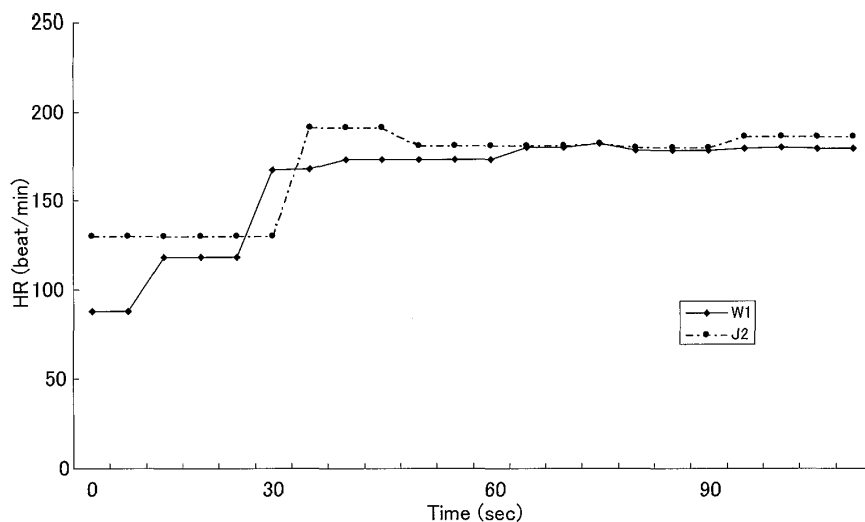
W1選手の競技ルーティン中の平均心拍数は161.0 ± 30.7beat/minであり、年齢から推測した最高心拍数の83.4%、心拍数の最大値は182拍であり、最高心拍数の93.8%であった (table3)。また、J2選手は平均心拍数が最高心拍数の84.5%にあたる169.3 ± 24.9beat/min、心拍数の最大値は191拍であり、最高心拍数の95.5%であった。競技ルーティン中の心拍数の時系列変動をみるとW1選手は開始30秒後に、J2選手は35秒後に急激な心拍数の上昇が見られた。心拍数の急激な上昇が見られた時点からルーティン終了後までの平均心拍数はW1選手が176.2 ± 4.42beat/min、J2選手が184 ± 4.16beat/minであり、最高心拍数に対してそれぞれ90.8, 92.0%であった (fig.3)。

(table 3) HR during the Routine

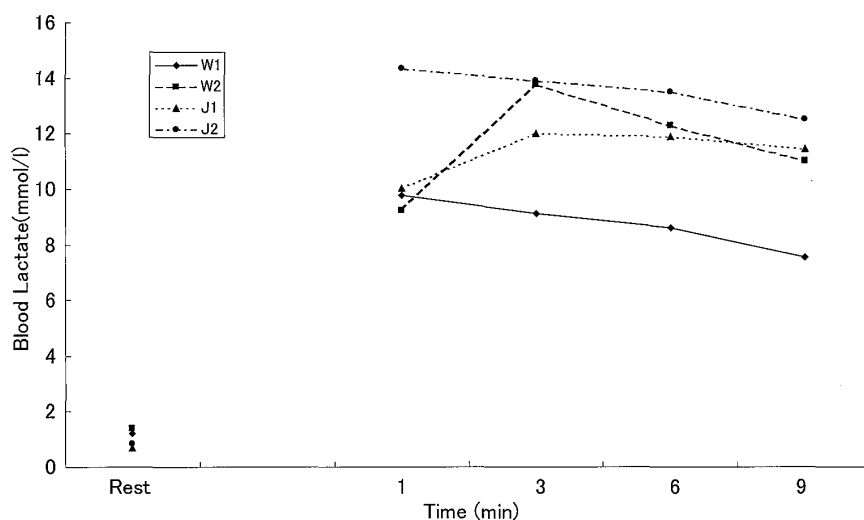
	W1	J2
HR Ave. ± SD	161.0 ± 30.7	169.3 ± 24.9
HRmax	182	191
HRmin	88	130

前述のような運動強度で行われている競技ルーティン後の血中乳酸濃度をみると、W1, J2選手はルーティン終了1分後に最大値となり、その後低下していった。W2, J1選手は

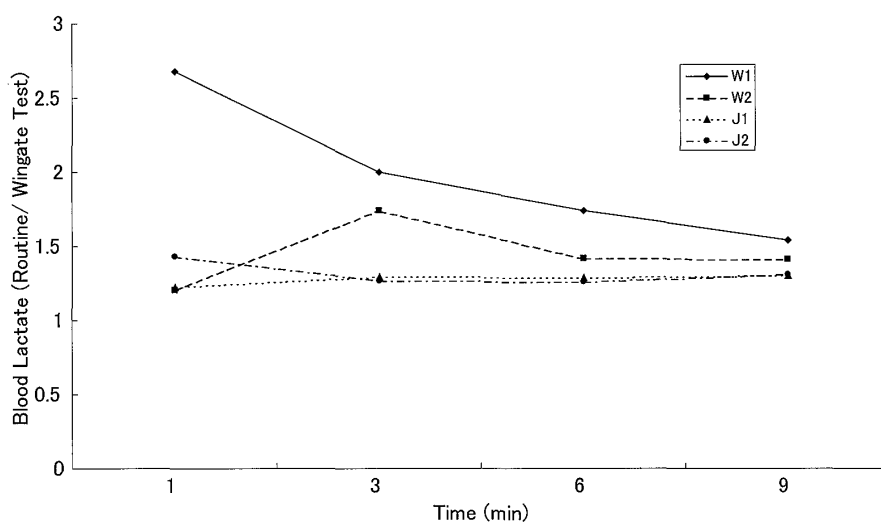
終了3分後の値が最大となり、その後同様に低下していった。競技ルーティン終了後の血中乳酸濃度の最大値はW1, W2, J1, J2選手それぞれ9.78, 13.77, 12.01, 14.36 mmol/lとなり、W1選手が最も低く、J2選手が最も高い値を示した (fig.4)。また、Wingate Test後の血中乳酸濃度に対する競技ルーティン後の血中濃度の比率は (fig.5) に示したとおりであった。各選手ともに1.0を越えており、競技ルーティン後の方が高い値を示したが、特にW1選手においては1分後の比率が2.7と高い値となった。



(fig.3) Movement of HR during the Routine



(fig.4) Movement of Blood Lactate after Routine



(fig.5) Blood Lactate Ratio of Routine /Wingate Test

考 察

乳酸は筋の収縮活動によって蓄積される疲労物質である。乳酸が生成されることが原因となり、運動によって筋疲労が起こると言われている。運動を始め、筋中に乳酸が生成されると血中にも拡散され、血中乳酸濃度が上昇することになるが、運動の初期や運動強度を急激に高く変化させた時に血中乳酸濃度が大きく上昇する傾向があり、運動終了後にその乳酸が安静レベルに近いところまで戻るのには数十分かかるとも言われている。このような生理的反応を背景に、運動の指標としてLT、OBLAが一般的に使われている。OBLAは血中乳酸濃度が4mmol/lとなる時点を指し、乳酸生成と除去の動的均衡のとれる閾値である。OBLAを越えると血中乳酸濃度が急激に上昇するが、乳酸が発生し、蓄積されるポイントが遅くなればより強い力を長時間使うことが出来るようになると言われている。乳酸はスポーツ競技の成績と密接な関係にあるという報告もあり、スポーツ選手の評価のためには広く用いられている。今回の測定においては4選手に自転車を用いた漸増負荷運動を行ってもらい、血中乳酸濃度を測定したが、J1選手がOBLAにおける運動強度が最も高く、W2選手が最も低かった。また、漸増負荷運動時に採取した呼気ガス分析から算出した最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)が大きい選手ほど、OBLAに相当する運動強度も大きい値を示していた。Wingate Testでは日本選手の無酸素性パワーの方が大きな値を示したが、同時にテスト後の血中乳酸濃度も高い値を示した。J1選手においては、テスト後の血中乳酸濃度の最大値が4.95mmol/lと非常に低い値を示しており、今回の測定では、運動に慣れていないということもあってか、十分な全力ペダリングを行えなかったことも考えられる。このような身体能力、血中乳酸濃度の反応が見られた各選手に対して、競技ルーティン後の血中乳酸濃度の値および変化を知ることは、競技特性、身体的特性を検討するためには非常に重要であると考え、測定を行った。

競技エアロビックは1分45±5秒という時間で各選手オリジナルの競技ルーティンを行い、その遂行度を競い合うスポーツである。我々は既に、世界のトップレベルの選手であるW1選手において競技ルーティン中の心拍数を測定し、競技ルーティン開始のおよそ30秒後に心拍数が急激に上昇し、その後は最高心拍数の約90%の運動強度で運動を持続していたことを報告しているが、日本を代表するJ2選手においても同様の傾向が認められた。つまり、競技エアロビックでは高強度の運動を持続的に行っているということである。このような心拍数で行われる競技ルーティン後に各選手の血中乳酸濃度が9.78~14.36mmo/lまで増加したことから、競技ルーティン実施には無酸素的代謝が大きく関与しており、競技エアロビックのパフォーマンスを行うためには無酸素的能力が重要であることが示唆された。一方、今回測定を行った世界のトップレベルの選手においては、競技ルーティン中の心拍数の変動では明確な個人差は認められなかったが、競技ルーティン後の血中乳酸濃度では個々のばらつきが認められた。血中乳酸濃度の最大値が異なるばかりではなく、変動状況も一様ではなく、W1、J2選手は終了1分後に、W2、J1選手は終了3分後に血中乳酸濃度の値は最大となり、その後低下していった。

このことは各選手のLTの違い、無酸素性パワーの違いの他に、各選手オリジナルの演技内容、演技の特徴を反映していることも一つの要素として考えられる。例えば、無酸素性パワー、血中乳酸濃度の値が低かったW1選手は、パワーを必要とする難度エレメントの遂行を柔軟性でカバーをし、演技開始から終了までコンスタントに演技の遂行度を維持するとともに独創的なコリオグラフィーで評価を得ている。これに対し、J1選手はパワーを生かし、完成度の高いジャンプ系の難度エレメントを多用しながら、競技スペースを十分に活用した身体重心の移動距離を十分に伴ったダイナミックな演技を行うという特徴がある。また、J2選手は演技前半では切れの良い動きを見せるが、後半においてはステップの移動距離が小さくなり、ジャンプ動作における高さが低くなったり、動きの遂行度が低下したりする傾向がある。J2選手はルーティン終了1分後に血中乳酸濃度の最大値を示し、その値は4選手中最も高くその後も高い値を示していた。Wingate Testおよび競技ルーティンにおける心拍数の最大値からみた運動強度の割合から考えると、実際の運動強度の違い以上に血中乳酸濃度の上昇がみられたことになる。運動強度を高めても、疲労物質と考えられている乳酸の生成が抑制できるように、乳酸耐性が向上するようなトレーニングを行うことにより、競技ルーティンにおいても最後まで持続的に力を発揮する能力が養われる可能性も考えられる。また、W1選手のように、シングル部門だけではなくミックスペアやトリオ、グループといった他の部門にも同時にエントリーする選手もいたり、大会によっては予選と決勝を同日に行うこともあり、1日1回の演技ではなく、短い休息時間を挟んで何度も演技を行わなければならない、十分な回復時間がないままレベルの高いパフォーマンスを実施することが要求される場合も出てくる。W1選手は競技ルーティン直後の血中乳酸濃度の値が低く、その後も減少をしていたが、疲労物質を出来るだけ早く取り除けること、血中乳酸の除去能力の高さも大会結果には影響を及ぼすと思われる。

このように競技エアロビックでは、高い運動強度で持続的にステップワークを行いながら、瞬発的に大きな力を発揮するような難度エレメントを完璧な遂行度で実施することを目指さなければならない。したがって、求められる技術要素を最後まで正確に遂行していくためには、強い運動強度にも耐えうる身体能力が必要となってくると考えられる。競技エアロビックは表現スポーツ、芸術スポーツとして発展してきており、演技構成、プレゼンテーションなどが評価の対象として高い割合を占めてきたスポーツである。競技内容は、陸上競技や水泳などの個々の身体能力が記録に直接的に反映されるスポーツとは大きく異なる。しかしながら、現在競技規則の改訂を行いながら、競技スポーツとして成熟、発展している中で、基本となる技術力を持たなければ芸術性も評価されなくなっている。特に、2005年からの競技規則改訂後は評価の高い難度エレメントも増加し、総合得点にも大きく関わる高難度のエレメントや難度エレメントのコンビネーションを競技ルーティンに取り入れ、確実に評価を得るためには、瞬発力、柔軟性、筋持久力などのベースとなる体力要素が高いレベルにあることが必要となってきた。さらに体力要素を生かした切れの良いダイナミックな動きや大きなステップワークで明確に動作を行うことなどの技術的要素の要求度も高まってきている。今後世界のトップで競い合

うためには、高い運動強度で最後まで技術レベルを維持できる体力要素がさらに必要になってくると考えられる。また、選手の体力特性を踏まえた上でより高得点を期待できる演技を構成することは戦略的にも非常に重要なことであると思われ、高い運動強度に耐えうる能力の評価として、血中乳酸濃度を1つの指標として捉えることは選手育成にとっての有用な資料になると考えられる。競技エアロビックでは、持続的な運動能力を高めること、例えばLTやOBLAの値を上昇させることが出来れば、より強い力を長い時間使えるようになり、最後まで力を発揮することも可能になるのではないだろうか。一方で、競技時間、競技内容を考慮すると、無酸素系でのエネルギー供給能力の高さと耐乳酸性、つまり筋肉への乳酸蓄積に耐えうる能力が要求されると思われる。これらのことから、競技エアロビックにおいては、血中乳酸濃度の上昇を少なくするような無酸素性のトレーニング、間欠的な耐乳酸性トレーニングも有効に活用できると考えられた。

ま と め

競技エアロビックは表現スポーツであり、芸術点、技術点、難度点の3つの観点から評価される採点競技であるため、体力的な要素が直接的に競技記録や順位に反映されるというわけではない。しかしながら、競技ルーティンでは高い運動強度の運動を持続して行う能力が要求され、体力的な要素が高くなければ動作実施の遂行度は低くなり、技術点にも大きく影響を与えてしまう。さらに、各動作の遂行度が高くなければルーティン全体を通して優れたパフォーマンスを行うことは難しくなり、技術点だけではなく、芸術的な評価も得られないことになる。したがって、高得点を得るためには、基礎的な体力要素を高め、その能力を十分に活用し、洗練された完璧な動きを実施しなければならない。体力要素を高めるための一つの指標として、運動による血中乳酸濃度動態を知り、個々の身体特性を把握した上でトレーニングに活用していくことは競技力の向上に非常に役立つものであると考えられる。今後は、競技ルーティン中の血中乳酸濃度の変化や選手それぞれのトレーニングによる血中乳酸濃度の変化なども追跡し、競技力との関わりについてさらに追求していきたいと思う。

(付記)

本研究は平成16年度よりの文部科学省学術フロンティア推進事業「北方圏における生涯スポーツ社会の構築に関する総合的研究」の一部となっている。

参考引用文献

- 1) Aerobic Gymnastics "Code of Points 2005-2008" : Federation International of Gymnastic, 2005
- 2) Sports Aerobics "Code of Points 2001-2004" : Federation International of Gymnastic, 2001

- 3) 「エアロビックコーチ教本」：日本エアロビック連盟, 2006
- 4) Georgi Sergiev: Sports Aerobics～Technique of Execution and Training Methods of difficulty Elements, Sofia, 2004
- 5) Laurent Bosquet, et al: Blood lactate response to overtraining in male endurance athletes, Eur J Appl Physiol, vol.84, pp107-114, 2001
- 6) Omar Ali, et al, Maximal lactate steady state in trained adolescent. Journal of Sports Science, 2004, 22, 215-225
- 7) 尾縣貢, 高本恵美, 大山下圭悟: 下肢関節の等速性筋力と Wingate test により測定された無酸素性パワーとの関係, 体力科学, vol.49, pp523-526, 2000
- 8) 尾縣貢: スポーツ技術と身体能力, 体育の科学, vol.49 No. 2, 2004
- 9) 菊地はるひ, 佐々木浩子: 競技エアロビック選手の身体的特性～トップアスリートの有酸素性能力と膝関節の等速性筋力について～, 北海道浅井学園大学短期大学部紀要, 第42号, pp177-185, 2004
- 10) 菊地はるひ, 佐々木浩子: 競技エアロビッジュニア選手の身体的特性～競技ルーティン中の心拍数変動と身体能力について～, 北海道浅井学園大学短期大学部紀要, 第43号, pp21-30, 2005
- 11) 佐伯徹郎, 三本木温, 高松薫: 一定速度による無機・有機的最大走行の後半局面における酸素摂取量の変化量と血中乳酸濃度の変化量との関係, 体力科学, Vol.47, pp327-332, 1998
- 12) 高橋淳一郎, 青木純一郎: 水球競技のインターバルにおける Active Rest が血中乳酸濃度の減少に及ぼす効果, 体力科学, vol.47, pp173-180, 1998
- 13) 高橋英幸・飯田晴子他: 体力・運動能力・競技能力の測定, 臨床スポーツ医学 vol.21, 臨時増刊号, pp2-88, 2004
- 14) 中谷敏昭, 伊藤稔: 競泳選手のインターバルトレーニング～耐乳酸トレーニングについて～, 体育の科学, Vol.46 No.7, pp552-561, 1996
- 15) 中村好男: 乳酸は筋活動の限界因子となるか, 体育の科学, Vol.53 No. 2, 2003
- 16) 八田秀雄: Sportsmedicine Express 6「乳酸」, ブックハウス・エイチディ, 1997
- 17) 宮下充正, 加賀屋淳子: からだの「仕組み」のサイエンス, 杏林書院, 1997
- 18) 宮下充正: トレーニングの科学的基礎, ブックハウス・エイチディ, 1996
- 19) 山本利春: 測定と評価～現場に活かすコンディショニングの科学, ブックハウス エイチディ, 2001
- 20) 吉田敬義: 運動の指標としての AT, LT, OBLA の持つ意味, 体力科学, Vol.42, pp406-414, 1993
- 21) 和田正信, 三島隆章, 山田崇史: 筋収縮における乳酸の役割, 体育学研究, Vol.51, pp229-239, 2006